

УДК 62-771

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА СОЕДИНЕНИЙ СБОРНО-РАЗБОРНОГО НЕФТЕПРОДУКТОПРОВОДА

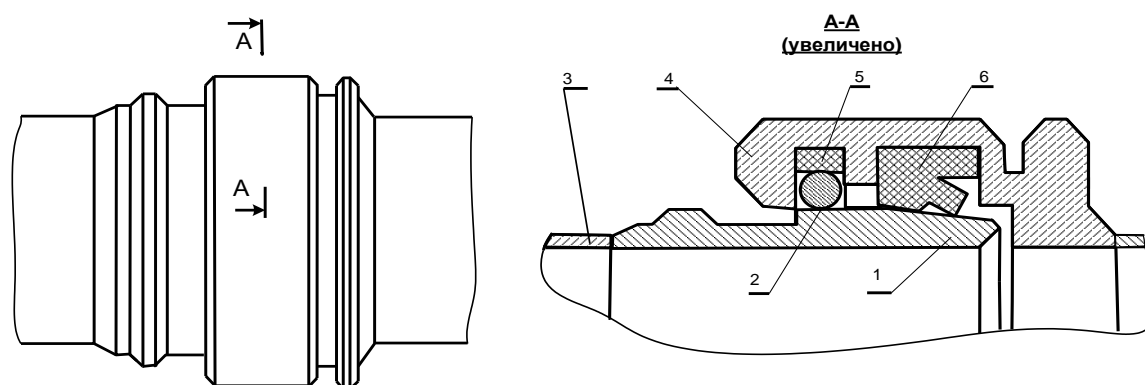
Ю.Н. РЫБАКОВ, О.Д. ХАРЛАМОВА, Р.И. КЮННАП, С.И. ЧИРИКОВ

Разработан высокоинформативный метод определения остаточного ресурса соединений сборно-разборного нефтепродуктопровода по фактическому состоянию резиновых уплотнительных колец. Экспериментально установлены коэффициенты и предложена формула расчёта остаточного ресурса быстроразъёмных соединений в зависимости от климатического района эксплуатации.

**Ключевые слова:** сборно-разборный нефтепродуктопровод, остаточный ресурс, резиновые уплотнительные кольца, нефтепродукты.

Расширение сферы использования сборно-разборных нефтепродуктопроводов (СРН) выдвигает задачу дальнейшего повышения их надежности и экологической безопасности [1-5].

Одним из путей ее решения является обеспечение надежности соединений СРН (рис. 1).



**Рис. 1.** Раструбное соединение по ГОСТ 20772: 1 - манжета; 2 - стальное запорное кольцо; 3 - труба; 4 - раструб; 5 - резиновая микропористая подкладка; 6 - резиновое уплотнительное кольцо

Резиновое уплотнительное кольцо является наиболее значимым элементом быстроразъёмных соединений, обеспечивающих герметичность СРН в целом.

В одном комплекте СРН типа ПМТП-150 протяженностью 150 км эксплуатируется одновременно до 30 000 колец. Кроме значительной стоимости самих колец (6 000 тыс. руб. за один комплект) следует учитывать затраты, связанные с демонтажом-монтажом колец при плановом техническом обслуживании на действующем нефтепродуктопроводе в условиях заболоченной, пересеченной местности Сибири, Крайнего Севера, Арктики, а также колоссальные убытки при ликвидации аварийных проливов нефти и нефтепродуктов на местности (локализация и сбор с грунта, их утилизация, рекультивация земли, очистка поверхностных вод и т.д.) и штрафные санкции виновнику загрязнения в случае разгерметизации соединений из-за эксплуатации колец с истощенным остаточным ресурсом.

Используемая в настоящее время планово-предупредительная система замены колец не позволяет в должной мере обеспечить надежность и экологическую безопасность СРН и объективно оценить техническое состояние и остаточный ресурс резиновых уплотнительных колец при эксплуатации в различных климатических зонах.

Несовершенство методов определения показателей для оценки технического состояния резиновых уплотнительных колец является причиной снижения надёжности и эффективности работы СРН.

Определение физико-механических показателей до контакта с нефтепродуктами не учиты-

вает основные виды воздействий на свойства резиновых уплотнительных колец в течение типового жизненного цикла, не позволяет оценить их техническое состояние и определить остаточный ресурс в процессе эксплуатации - устанавливается косвенно по результатам согласования с допустимыми значениями и не определяется количественно (в годах службы).

С учётом отечественного и зарубежного опыта в области уплотнительной техники, в целях достоверного и всестороннего определения остаточного ресурса и эксплуатационных свойств резиновых уплотнительных колец был разработан новый метод квалификационной оценки.

Суть метода заключается в прогнозировании остаточного ресурса с использованием экспериментально полученной аналитической зависимости, учитывающей фактическое состояние материала уплотнительных колец при доверительной вероятности  $q = 0,95$  [6].

Определено, что деформационно-прочностные свойства резин значительно изменяются после воздействия нефтепродуктов и зависят от сорта нефтепродукта, времени и температуры контакта. Так, при температуре контакта с нефтепродуктами  $(70 \pm 2)^\circ \text{C}$  изменение условной прочности при растяжении  $f_p$  и относительного удлинения при разрыве  $\varepsilon_p$  резины происходит в течение первых 3-5 сут. (72-120 ч), при дальнейшем контакте изменения показателей практически не происходит. При температуре контакта с нефтепродуктами  $(20 \pm 2)^\circ \text{C}$  отмечаются аналогичные закономерности, однако изменение показателей происходит медленнее в течение первых 5-15 сут. (120-360 ч) контакта (табл. 1).

Таблица 1

Изменение физико-механических показателей образцов уплотнительных колец в зависимости от времени и температуры контакта с нефтепродуктом

| Нефтепродукт   | Время<br>контакта, ч | Температура контакта, °С |                     |             |                     |
|--|----------------------|--------------------------|---------------------|-------------|---------------------|
|  |                      | 20                       |                     | 70          |                     |
|  |                      | Показатель               |                     |             |                     |
|  |                      | $f_p$ , МПа              | $\varepsilon_p$ , % | $f_p$ , МПа | $\varepsilon_p$ , % |
| Автобензин<br>Регуляр-92<br>ГОСТ Р 51105                   | 0                    | 13,3                     | 274                 | 13,3        | 274                 |
|  | 24                   | 12,5                     | 245                 | 11,5        | 230                 |
|  | 72                   | 11,9                     | 234                 | 11,0        | 201                 |
|  | 120                  | 11,6                     | 230                 | 11,1        | 202                 |
|  | 360                  | 11,5                     | 230                 | 11,0        | 200                 |
|  | 720                  | 11,6                     | 228                 | 11,1        | 202                 |
| Автобензин<br>Нормаль-80<br>ГОСТ Р 51105                   | 0                    | 13,3                     | 274                 | 13,3        | 274                 |
|  | 24                   | 12,8                     | 250                 | 12,0        | 236                 |
|  | 72                   | 12,2                     | 244                 | 11,9        | 213                 |
|  | 120                  | 11,9                     | 239                 | 11,8        | 214                 |
|  | 360                  | 11,7                     | 228                 | 11,9        | 216                 |
|  | 720                  | 11,8                     | 227                 | 11,8        | 215                 |
| Топливо<br>для реактивных<br>двигателей ТС-1<br>ГОСТ 10227 | 0                    | 13,3                     | 274                 | 13,3        | 274                 |
|  | 24                   | 13,0                     | 260                 | 13,0        | 260                 |
|  | 72                   | 12,9                     | 250                 | 12,8        | 243                 |
|  | 120                  | 12,9                     | 243                 | 12,4        | 224                 |
|  | 360                  | 12,4                     | 235                 | 12,3        | 223                 |
|  | 720                  | 12,5                     | 232                 | 12,1        | 221                 |
| Топливо<br>дизельное ДЗ<br>ГОСТ 305                        | 0                    | 13,3                     | 274                 | 13,3        | 274                 |
|  | 24                   | 13,4                     | 266                 | 13,3        | 272                 |
|  | 72                   | 13,4                     | 260                 | 13,4        | 265                 |
|  | 120                  | 13,3                     | 250                 | 13,2        | 249                 |
|  | 360                  | 13,1                     | 243                 | 13,0        | 235                 |
|  | 720                  | 13,0                     | 245                 | 12,8        | 230                 |
| Нефть<br>ГОСТ 9965   | 0                    | 13,3                     | 274                 | 13,3        | 274                 |
|  | 24                   | 13,3                     | 275                 | 13,4        | 272                 |
|  | 72                   | 13,3                     | 273                 | 13,3        | 269                 |
|  | 120                  | 13,3                     | 272                 | 13,1        | 252                 |
|  | 360                  | 13,2                     | 270                 | 13,2        | 250                 |
|  | 720                  | 13,1                     | 269                 | 13,2        | 252                 |

Таким образом, исследования показали, что время контакта образцов со средой должно быть не менее 120 ч при температуре  $(70 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ .

Для обоснования параметров термостатирования после выдержки в различных нефтепродуктах были проведены исследования образцов серийных резиновых уплотнительных колец (табл. 2).

**Таблица 2**

Изменение физико-механических показателей образцов уплотнительных колец в зависимости от времени термостатирования при температуре  $70^{\circ}\text{C}$  после контакта с нефтепродуктом

| Нефтепродукт   | Время термостатирования, ч | Показатель  |                     |              |                           |
|--|----------------------------|-------------|---------------------|--------------|---------------------------|
|  |                            | $f_p$ , МПа | $\varepsilon_p$ , % | H, ед. Шор А | T хр., $^{\circ}\text{C}$ |
| Автобензин<br>Регуляр-92<br>ГОСТ Р 51105             | 0                          | 11,1        | 202                 | 70           | Ниже-60                   |
|  | 24                         | 14,8        | 181                 | 82           | -26                       |
|  | 72                         | 14,4        | 178                 | 84           | -25                       |
|  | 120                        | 14,5        | 178                 | 84           | -25                       |
|  | 168                        | 14,4        | 177                 | 85           | -25                       |
|  | 360                        | 14,4        | 178                 | 84           | -25                       |
| Автобензин<br>Нормаль-80<br>ГОСТ Р 51105             | 0                          | 11,8        | 214                 | 71           | Ниже-60                   |
|  | 24                         | 14,6        | 198                 | 78           | -27                       |
|  | 72                         | 14,0        | 183                 | 84           | -25                       |
|  | 120                        | 14,1        | 182                 | 83           | -25                       |
|  | 168                        | 14,1        | 185                 | 83           | -25                       |
|  | 360                        | 14,0        | 183                 | 85           | -26                       |
| Топливо для реактивных двигателей ТС-1<br>ГОСТ 10227 | 0                          | 12,4        | 224                 | 75           | -48                       |
|  | 24                         | 14,7        | 202                 | 76           | -30                       |
|  | 72                         | 14,0        | 196                 | 78           | -28                       |
|  | 120                        | 13,5        | 189                 | 80           | -26                       |
|  | 168                        | 13,4        | 188                 | 80           | -26                       |
|  | 360                        | 13,5        | 189                 | 80           | -26                       |
| Топливо<br>Дизельное ДЗ<br>ГОСТ 305                  | 0                          | 13,0        | 229                 | 76           | -47                       |
|  | 24                         | 14,1        | 209                 | 77           | -30                       |
|  | 72                         | 13,8        | 200                 | 78           | -29                       |
|  | 120                        | 12,5        | 196                 | 80           | -27                       |
|  | 168                        | 12,3        | 195                 | 81           | -26                       |
|  | 360                        | 12,4        | 196                 | 80           | -27                       |
| Нефть<br>ГОСТ 9965                                   | 0                          | 13,1        | 252                 | 74           | -46                       |
|  | 24                         | 13,2        | 249                 | 75           | -40                       |
|  | 72                         | 13,1        | 245                 | 76           | -35                       |
|  | 120                        | 13,0        | 243                 | 77           | -29                       |
|  | 168                        | 12,6        | 237                 | 79           | -27                       |
|  | 360                        | 12,6        | 238                 | 79           | -27                       |

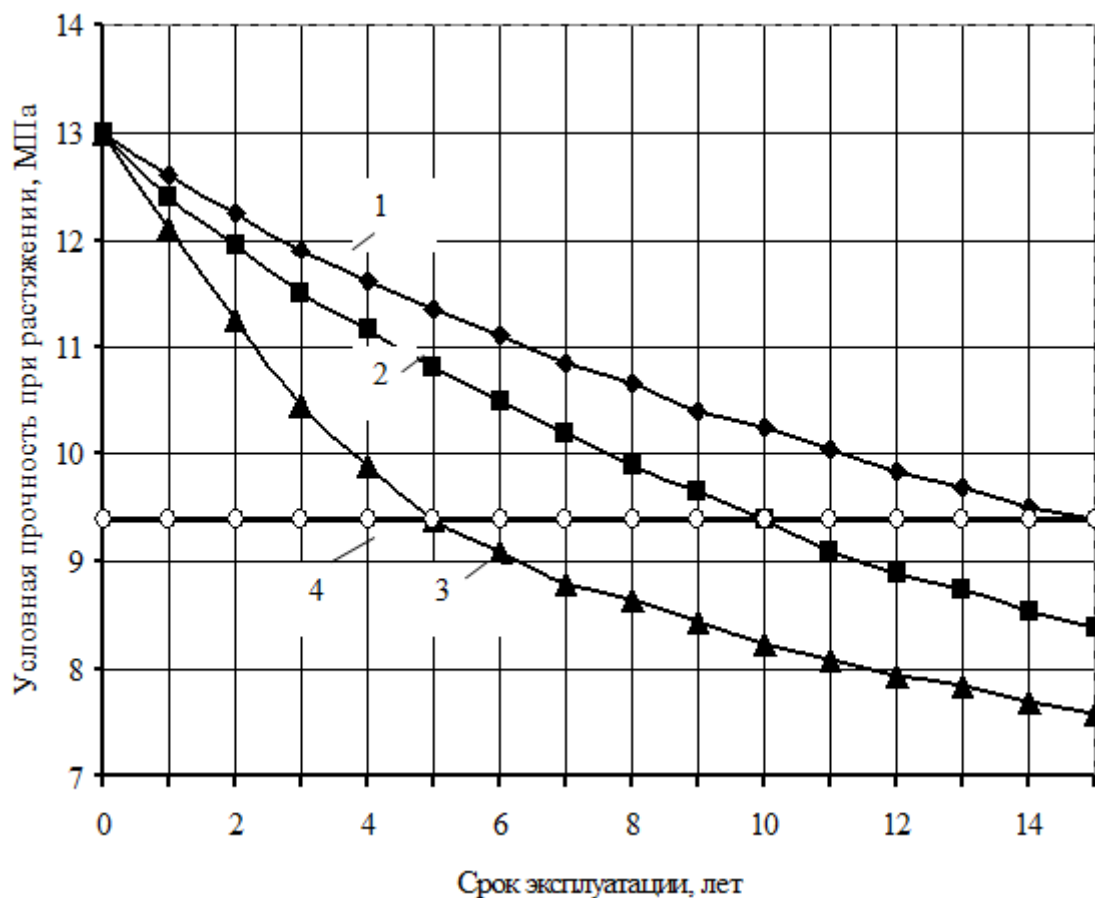
В результате исследований установлено, что время термостатирования образцов при температуре  $70^{\circ}\text{C}$  до полного испарения рабочей среды (стабилизации значений физико-механических показателей) для различных нефтепродуктов составляет: автомобильные бензины –  $(72 \pm 2)$  ч; дизельные и реактивные топлива –  $(120 \pm 2)$  ч; нефть –  $(168 \pm 2)$  ч.

В результате исследований [7] установлено, что показателем, наиболее склонным к изменению в течение срока службы резиновых уплотнительных колец, является условная прочность при растяжении  $f_p$ . Динамика изменения условной прочности при растяжении образцов, вырезанных из резиновых уплотнительных колец, после эксплуатации в различных климатических районах по ГОСТ 16350 представлена на рис. 2.

Установлено, что наиболее интенсивное снижение условной прочности при растяжении по отношению к исходному значению происходит в районах эксплуатации с жарким сухим климатом ( $I_1 - II_4$ ). В районах умеренного теплого ( $I_5 - II_8$ ) и холодного ( $I_9 - II_{12}$ ) климата прочностные свойства снижаются в 2-3 раза медленнее, на основании чего установлены коэффициенты, характеризующие изменение остаточного ресурса в зависимости от климатического района эксплуатации  $k$ :

$$k_{I_1-II_4} = 3; \quad k_{I_5-II_8} = 2; \quad k_{I_9-II_{12}} = 1.$$

Метод реализован при научно-методическом сопровождении эксплуатации нефтепродуктопровода «Талакан-Витим» в 1996-2009 гг., для которого был установлен сезонный режим работы, предусматривающий перекачку нефти в период с мая по ноябрь с последующим опорожнением от нефти на зимний период без демонтажа уплотнительных элементов.



**Рис. 2.** Динамика изменения условной прочности при растяжении образцов, вырезанных из резиновых уплотнительных колец после эксплуатации в различных климатических районах: 1 –  $I_1 - II_4$ ; 2 –  $I_5 - II_8$ ; 3 –  $I_9 - II_{12}$ ; 4 – допустимое значение

В результате ежегодной оценки технического состояния резиновых уплотнительных колец [8] после эксплуатации на нефтепродуктопроводе и хранения в составе ЗИП определяли их остаточный ресурс с учётом наименьшего значения условной прочности при растяжении (табл. 3).

Расчёт остаточного ресурса  $\Delta T$  (годы) колец проводился по следующей зависимости

$$\Delta T = k_i (T - T_n) \ln \frac{f_{pj}}{f_{p0}}, \quad (1)$$

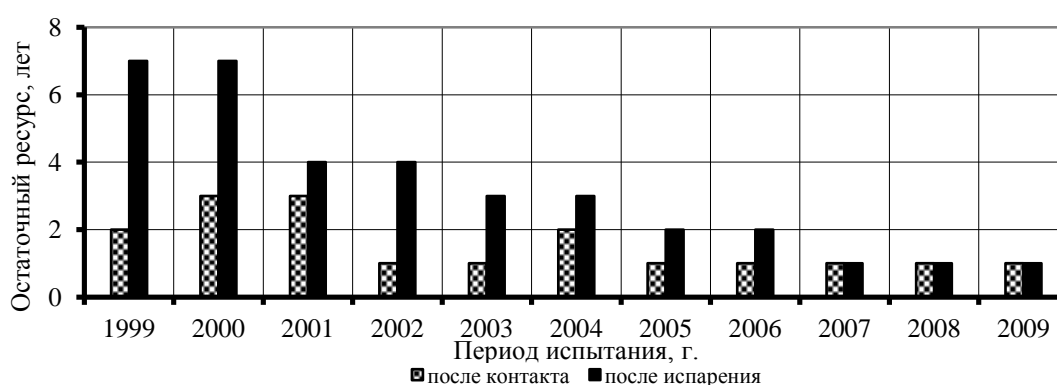
где  $k_i$  – коэффициент, характеризующий изменение остаточного ресурса  $\Delta T$  в зависимости от климатического района эксплуатации, принимают  $k_{I-II} = 3$ ;  $T$  – средний срок службы резиновых уплотнительных колец до списания, лет;  $T_n$  – период эксплуатации резиновых уплотнительных колец с 1996 г. выпуска до момента определения, г;  $f_{p\partial} = 9,4$  МПа – минимально допустимое значение условной прочности при растяжении образца;  $f_{pj}$  – наименьшее значение условной прочности при растяжении образца, МПа.

**Таблица 3**

Наименьшее значение условной прочности при растяжении образцов уплотнительных колец после различных сроков эксплуатации на нефтепродуктопроводе и хранения в составе ЗИП

| Период испытания, г. | Условная прочность при растяжении образцов уплотнительных колец, МПа |      |   |      |
|----------------------|--|------|---|------|
|                      | После контакта с нефтью при 70°С в течение 5 сут.                    |      | После термостатирования при 70°С в течение 7 сут. |      |
|                      | после эксплуатации   | ЗИП  | после эксплуатации                                | ЗИП  |
| 1999                 | 10,0   | 11,4 | 11,4  | 12,7 |
| 2000                 | 10,2   | 11,0 | 11,6  | 12,8 |
| 2001                 | 10,3   | 10,8 | 10,8  | 12,2 |
| 2002                 | 9,9  | 11,2 | 11,0  | 12,5 |
| 2003                 | 9,7  | 10,6 | 10,8  | 12,0 |
| 2004                 | 10,2   | 10,9 | 10,9  | 11,8 |
| 2005                 | 9,7  | 10,5 | 10,6  | 11,5 |
| 2006                 | 9,8  | 10,6 | 10,5  | 11,6 |
| 2007                 | 9,8  | 10,5 | 10,4  | 11,5 |
| 2008                 | 9,7  | 10,4 | 10,3  | 11,4 |
| 2009                 | 9,7  | 10,4 | 10,3  | 11,3 |

Результаты расчёта остаточного ресурса резиновых уплотнительных колец после различных сроков эксплуатации и хранения в составе комплекта ЗИП представлены на рис. 3, 4.



**Рис. 3.** Изменение остаточного ресурса резиновых уплотнительных колец после эксплуатации



**Рис. 4.** Изменение остаточного ресурса резиновых уплотнительных колец после хранения в составе ЗИП

Разработанный метод определения остаточного ресурса резиновых уплотнительных колец, используемых в соединениях нефтепродуктопроводов, позволяет адекватно оценить их работоспособность и остаточный ресурс в процессе эксплуатации, повысить надёжность, экологическую безопасность и эффективность использования СРН.

За весь период работы СРН (13 лет) в результате использования колец, отобранных по предлагаемой методике, не было аварий и неисправностей, связанных с проливами нефти и загрязнения окружающей среды.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Патент РФ 2234072. Способ оценки состояния резиновых уплотнительных колец трубного соединения / Рыбаков Ю.Н., Харламова О.Д., Паталах И.И., Фёдоров А.В. // Заявл. 05.09.2002. Оpubл. 10.04.2004. Бюл. № 12.
2. Патент РФ 2239117. Способ монтажа сборно-разборного нефтепродуктопровода с соединением «Раструб» / Рыбаков Ю.Н., Харламова О.Д., Паталах И.И., Фёдоров А.В. // Заявл. 18.04.2003. Оpubл. 27.10.2004. Бюл. № 30.
3. Патент РФ 2272270. Способ определения остаточного ресурса резиновых уплотнительных колец, используемых в соединениях нефтепродуктопроводов / Рыбаков Ю.Н., Харламова О.Д., Паталах И.И., Фёдоров А.В. // Заявл. 03.09.2004. Оpubл. 20.03.2006. Бюл. № 8.
4. Патент РФ 2152267. Установка для нанесения защитного состава / Рыбаков Ю.Н., Паталах И.И., Фёдоров А.В., Харламова О.Д. // Заявл. 11.11.1998. Оpubл. 10.07.2000. Бюл. № 19.
5. Патент РФ 2156268. Состав для защитного покрытия / Рыбаков Ю.Н., Паталах И.И., Фёдоров А.В., Перлов А.Н., Харламова О.Д. // Заявл. 20.09.2000. Оpubл. 20.09.2000. Бюл. № 26.
6. Методические указания. Надёжность в технике. Методы оценки показателей надёжности по экспериментальным данным. РД 50-690-89. М.: Изд-во стандартов, 1990. С. 15-16.
7. Исследование по разработке технологии мониторинга состояния присоединительных устройств технических средств нефтепродуктообеспечения: отчет о НИР. М.: ФГУП «25 ГосНИИ Минобороны России», 2006.
8. Рыбаков Ю.Н., Пирогов Ю.Н., Харламова О.Д., Самарина Г.Р. Новый метод оценки технического состояния уплотнительных колец для трубного соединения // Труды 25 ГосНИИ МО РФ. 2006. Вып. 53. С. 529-537.

#### PROGNOSTICATION OF RESIDUAL LIFE OF COLLAPSIBLE PIPELINE COMPOUNDS

Ribakov Yu.N., Harlamova O.D., Kyunnap R.I., Chirikov S.I.

Highly informative method for determining the residual life of the compounds of collapsible oil pipelines on the actual condition of rubber O-rings is developed. Ratios and proposed formula for calculating the residual resource of quick couplings depending on the climatic region of operation are experimentally established.

**Keywords:** collapsible pipelines, residual life, rubber O-rings, petroleum.

## REFERENCES

1. **Patent RF 2234072.** *Sposob ocenki sostojanija rezinovyh uplotnitel'nyh kolec trubnogo soedinenija.* Rybakov Ju.N., Harlamova O.D., Patalah I.I., Fjodorov A.V. Declared 05.09.2002. Published 10.04.2004. Bulletin № 12. (In Russian).
2. **Patent RF 2239117.** *Sposob montazha sborno-razbornogo nefteproduktoprovoda s soedineniem «Rastrub».* Rybakov Ju.N., Harlamova O.D., Patalah I.I., Fjodorov A.V. Declared 18.04.2003. Published 27.10.2004. Bulletin № 30. № 12. (In Russian).
3. **Patent RF 2272270.** *Sposob opredelenija ostatochnogo resursa rezinovyh uplotnitel'nyh kolec, ispol'zuemyh v soedinenijah nefteproduktoprovodov.* Rybakov Ju.N., Harlamova O.D., Patalah I.I., Fjodorov A.V. Declared 03.09.2004. Published 20.03.2006. Bulletin № 8. № 12. (In Russian).
4. **Patent RF 2152267.** *Ustanovka dlja nanesenija zashhitnogo sostava.* Rybakov Ju.N., Patalah I.I., Fjodorov A.V., Harlamova O.D. Declared 11.11.1998. Published 10.07.2000. Bulletin № 19. № 12. (In Russian).
5. **Patent RF 2156268.** *Sostav dlja zashhitnogo pokrytija.* Rybakov Ju.N., Patalah I.I., Fedorov A.V., Perlov A.N., Harlamova O.D. Declared 20.09.2000. Published 20.09.2000. Bulletin № 26. № 12. (In Russian).
6. *Metodicheskie ukazanija. Nadezhnost' v tehnike. Metody ocenki pokazatelej nadezhnosti po jeksperimental'nyh dannym. RD 50-690-89.* M.: Izd-vo standartov. 1990. Pp. 15-16. № 12. (In Russian).
7. *Issledovanie po razrabotke tehnologii monitoringa sostojanija prisoedinitel'nyh ustrojstv tehniceskikh sredstv nefteproduktoobespechenija: otchet o NIR.* M.: FGUP «25 GosNII Minoborony Rossii». 2006. № 12. (In Russian).
8. **Rybakov Ju.N., Pirogov Ju.N., Harlamova O.D., Samarina G.R.** *Novyj metod ocenki tehniceskogo sostojanija uplotnitel'nyh kolec dlja trubnogo soedinenija. Trudy 25 GosNII MO RF.* 2006. Vyp. 53. Pp. 529-537. (In Russian).

## Сведения об авторах

**Рыбаков Юрий Николаевич**, 1961 г.р., окончил МИНХ и ГП им. И.М. Губкина (1983), кандидат технических наук, заслуженный изобретатель Российской Федерации, лауреат стипендии Президента РФ «Работникам оборонно-промышленного комплекса за выдающиеся заслуги в создании военной и специальной техники», старший научный сотрудник, начальник 23 отдела «25 ГосНИИ химмотологии Минобороны России», автор более 200 научных работ, область научных интересов – нефтепродуктообеспечение, полимерные материалы.

**Харламова Ольга Дмитриевна**, окончила МАТИ (1978), начальник лаборатории полимерных материалов и новых технологий «25 ГосНИИ химмотологии Минобороны России», автор более 80 научных работ, область научных интересов – складские технические средства нефтепродуктообеспечения.

**Кюннап Роман Игоревич**, 1989 г.р., окончил УВВТУ (ВИ) (2011), младший научный сотрудник 23 отдела «25 ГосНИИ химмотологии Минобороны России», автор 7 научных работ, область научных интересов – технические средства нефтепродуктообеспечения.

**Чириков Сергей Игоревич**, 1990 г.р., окончил МАТИ (2013), младший научный сотрудник 23 отдела «25 ГосНИИ химмотологии Минобороны России», автор 5 научных работ, область научных интересов – полимерные материалы.